

USO DE PRODUCTOS NATURALES PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO AL AGUA DE REVOQUES A BASE DE TIERRA

Roberto Mattone, Gloria Pasero, Alezio Rivotti, Viviana Tosco

Politecnico di Torino – Facoltà di Architettura

DINSE/Dipartimento di Scienze e Tecniche per i Processi di Insediamento

Viale Mattioli 39, 10125, Torino, ITALIA

Tel.: +39 011 5644371-2-3; Fax: +39 011 5644374; E-mail: roberto.mattone@polito.it

Tema 5: Comportamiento y resistencia de los edificios

Palabras-claves: Tierra cruda, aditivos vegetales, resistencia al agua.

Resumen

En el ámbito de las construcciones de tierra cruda, fue conducida una primera campaña de pruebas de revoques a base de tierra, realizados con el uso de diferentes adherentes: cal, yeso y productos de origen vegetal (almidón de maíz, harina de maíz y arroz, gluten vital de trigo). Se han tenido en cuenta las diferentes características físico-químicas de la cal y el yeso, su comportamiento en presencia de arcilla, su compatibilidad con aditivos de origen vegetal y el bajo costo energético necesario para su producción.

Sobre muestras de revoques de diferentes composiciones se han hecho pruebas de resistencia al agua (absorción, lluvia artificial), flexión, abrasión y adherencia.

Las pruebas han demostrado las buenas prestaciones de los revoques que adoptan la malta de yeso con aditivos de origen vegetal.

1. Premisa

La función que el revoque desenvuelve en las construcciones de tierra cruda es, al mismo tiempo, de terminación y protección de los agentes atmosféricos.

En muchos países, en especial europeos, la solución más comúnmente adoptada, caracterizada por una buena resistencia al agua y una notable adherencia a la superficie, provee el utilizzo de cal aérea y arena. Un revoque de este tipo, si de un lado presenta las indiscutibles características nombradas antes, por otro impide reconocer el material que ha sido empleado para la construcción.

Además en intervenciones para viviendas de bajo costo, no es siempre posible aplicarlo. Muy seguido, en los lugares de construcción no hay arena a disposición y los elevados costos de transporte vuelven impropio su empleo. En estas situaciones, desde el perfil económico el uso de tierra cruda es obligatorio, aunque no siempre su aplicación es fácil, en particular cuando el material local a disposición resulta muy sensible al agua (por granulación o por tipo de arcilla presente): en tal caso se busca un tipo de malta y eventuales aditivos para mejorar la durabilidad del revoque, en el respeto del medio ambiente y el confort de la habitación.

La campaña experimental conducida en el Laboratorio Pruebas Materiales y Componentes de la Facultad de Arquitectura II del Politécnico de Turin tuvo la finalidad de evidenciar las características de revoques en tierra estabilizados con cal aérea y yeso (plaster of Paris – sulfuro de calcio hemidrato). El uso de cal aérea y yeso, empleados separadamente o combinados entre ellos, toma en cuenta sus características físico-químicas y su costo energético de producción (para cocer la piedra de cal se necesita una temperatura entre los 900 y 1100°C, con un consumo de energía de 3200 kJ/kg, osea 760 kcal/kg; para convertir la piedra de yeso en hemidrato o polvo es necesaria una temperatura más o menos 163°C, con un desgaste de calor de 590 kJ/kg, osea 140 kcal/kg, con un fuerte ahorro energético).

En particular ambos materiales permiten la realización de revoques dotados de una buena traspiración; el yeso además es químicamente compatible con aditivos de origen vegetal, tal cual, fibras, pulpa de cactus, gluten, etc., que pueden mejorar su durabilidad.

2. Las actividades experimentales

En el transcurso de las experimentaciones se han afinado test simples, fácilmente aplicables en obra, pero capaces de resaltar las características de los varios tipos de revoques. En particular han sido conducidas pruebas a flexión, absorción, desgaste, adherencia al soporte, erosión (asumiendo como guías para estas ultimas las indicaciones de CRATerre y las Normas Australianas).

2.1 Los materiales utilizados

Los materiales utilizados en le curso de las experimentaciones tienes las siguientes características.

a. Tierra de origen:

- granulación: arcilla 14%, limo 44%, arena 38%, piedras 4%;
- pH: 9,20¹;
- análisis química (tabla 1).

TABLA 1.

pérdida a calcinación	5,5%
de ellos CO ₂ igual a	0,3%
silicato total SiO ₂	70,8%
oxido de hierro Fe ₂ O ₃	4,4%
oxido de aluminio Al ₂ O ₃	12,1%
oxido de calcio CaO	2,4%
oxido de magnesio MgO	2,5%
oxido de sodio Na ₂ O	1,1%
sulfato SO	<0,05%
cloruros	0,02%

La tierra usada para la preparación de los revoques fue pasada al colador de 1 mm.

b. Cal aérea, proveniente del cocido de piedra calcárea.

c. Yeso hemidrato (plaster of Paris).

d. Gluten vital de trigo:

- características químico-físicas: humedad 9% max, cenizas 1,2% max, proteínas 75% min, lípidos totales 5% max, almidón 15% max;
- tiempo de hidratación 10 minutos;
- absorción del agua después de 90 minutos 170%.

3. Composición de los diferentes tipos de revoques

De la experimentación inicial conducida con 25 diferentes tipos de mezclas de revoques, las pruebas fueron llevadas adelante con las tipologías incluidas en la tabla 2.

TABLA 2.

Tipo de enlucido	Tipo de mezcla
A	Tierra + Yeso 20%
I	Tierra+ Cemento 10%
L	Tierra+ Yeso 5% + Cal 5% + Gluten vital de trigo 1% mezclado a seco
N	Tierra + Calce 10% + Gluten vital de trigo 1% mezclado a seco
O	Tierra + Yeso 20% + Gluten vital de trigo 1% mezclado a seco
P	Tierra + Gluten vital de trigo 3% mezclado a seco
Q	Tierra + Yeso 20% + Gluten de maíz 2%
R	Tierra + Yeso 10% + Gluten vital de trigo 2% mezclado a seco
S	Tierra + Yeso 5% + Gluten vital de trigo 3% mezclado a seco
Z	Tierra + Yeso 5% + Gluten vital de trigo 2% mezclado a seco

4. Las Pruebas

4.1 Evaluación de la contracción

La forma y las dimensiones de las muestras (2x3x12 cm) han consentido evaluar en modo rápido la contracción. La tabla 3 reporta los valores obtenidos.

TABLA 3.			
Tipo de muestra	Contracción media respecto a la longitud [%]	Tipo de muestra	Contracción media respecto a la longitud [%]
A	0,00	P	2,88
I	0,37	Q	0,00
L	0,24	R	0,00
N	2,14	S	1,23
O	0,00	Z	2,06

Se observa como un porcentaje de yeso, comprendida entre el 10 y el 20%, permite controlar la contracción.

4.2 Pruebas de flexión

Este tipo de prueba, de fácil ejecución², permite evaluar también en obra la resistencia a tracción del material; el test fue llevado a cabo sobre seis muestras (2x3x12 cm) por cada tipo de mezcla, aplicando el peso en modo directo, según el esquema indicado en la figura 1a. Los resultados obtenidos son expresados en la tabla 4.

TABLA 4.			
Tipo de muestra	Tensión media de ruptura* $\sigma_{\max}$ [MPa]	Tipo de muestra	Tensión media de ruptura* $\sigma_{\max}$ [MPa]
A	1,559	P	1,881
I	0,568	Q	1,248
L	0,640	R	1,190
N	0,443	S	1,483
O	1,357	Z	1,258

(*) Los valores expresados son la media aritmética de las seis lecturas efectuadas, quitando el valor máximo i mínimo.

La prueba a flexión muestra como el uso del yeso como estabilizador aumente la calidad de la malta-matriz, que resulta más compacta y homogénea, comparada a la misma estabilizada con cemento solo o añadiendo cal. Los mejores resultados se obtienen con yeso solo (20%) y gluten solo (3%). La presencia de cal resulta negativa por su agresividad química hacia el gluten vital de trigo.

4.3 Test de absorbencia

El test fue conducido sobre las dos mitades de las muestras sujetas a flexión; estas fueron inmersas en 10 mm de agua destilada por un lapso de 5 minutos apuntando, cada minuto, la cantidad de agua absorbida³ (tabla 5). El test permite evaluar, en primera instancia, el comportamiento al agua del material, mostrando posibles separaciones y desmoronamientos (fig.1b).

TABLA 5.

Tipo de muestra	Absorbencia específica media* 1° minuto [g/cm ²]	Absorbencia específica media* 2° minutos [g/cm ²]	Absorbencia específica media* 3° minutos [g/cm ²]	Absorbencia específica media* 4° minutos [g/cm ²]	Absorbencia específica media* 5° minutos [g/cm ²]	Absorbencia específico total [g/cm ²]
A	0,25	0,11	0,08	0,05	0,05	0,54
I	0,40	0,14	0,10	0,08	0,06	0,78
L	0,16	0,07	0,04	0,04	0,04	0,34
N	0,12	0,02	0,03	0,02	0,01	0,20
O	0,17	0,07	0,05	0,05	0,04	0,37
P	0,09	0,05	0,04	0,03	0,03	0,24
Q	0,18	0,07	0,05	0,04	0,05	0,39
R	0,15	0,08	0,05	0,05	0,03	0,37
S	0,13	0,07	0,06	0,05	0,04	0,34
Z	0,17	0,09	0,07	0,06	0,04	0,43

(*) Los valores expresos son la media aritmética de las seis lecturas efectuadas, quitando el valor máximo i mínimo

La prueba indica como al aumento de gluten vital de trigo al yeso reduzca la absorción de agua, que se puede comparar al valor obtenido con la estabilización de cal. La absorción obtenida de las muestras de tierra sola y yeso es de todas formas menor al valor obtenido con tierra y cemento.

4.4 Test de abrasión

El test fue conducido sobre seis muestras (2x5x5 cm) por cada tipo de mezcla; cada uno fue sujeto a tres pasadas de papel abrasivo (lija P120 tela), según el esquema de pruebas indicado en la figura 2a. La tabla 6 expresa los resultados obtenidos.

TABLA 6.

Tipo di provino	Valor específico medio de abrasión después 1° pasada [g/cm ²]	Valor específico medio de abrasión después 2° pasada [g/cm ²]	Valor específico medio de abrasión después 3° pasada [g/cm ²]	Valor específico medio total de abrasiones* [g/cm ²]
A	0,04	0,04	0,04	0,11
I	0,05	0,08	0,09	0,23
L	0,02	0,02	0,02	0,06
N	0,10	0,17	0,23	0,49
O	0,03	0,03	0,04	0,10
P	0,01	0,01	0,01	0,04
Q	0,04	0,04	0,04	0,12
R	0,04	0,04	0,04	0,12
S	0,02	0,02	0,02	0,06
Z	0,03	0,03	0,03	0,09

(*) Los valores expresos son la media aritmética de las seis lecturas efectuadas, quitando el valor máximo i mínimo.

Como ya expreso en la prueba a flexión, las mezclas tierra+yeso y tierra+yeso+gluten de trigo, en debidas proporciones, forman una matriz que manifiesta en esta prueba una mayor dureza superficial.

4.5 Test de adherencia al soporte

Para uniformar el test fue escogido un soporte de ladrillo constituido por un ladrillo hueco (80X25x6 cm) sobre el cual han sido aplicados los revoques en estratos sucesivos rayando la superficie para aumentar la adherencia entre los estratos. Para

cada tipo de revoque fueron efectuadas tres pruebas aplicando la carga en modo directo, según el esquema indicado en la figura 3.

Antes de la aplicación de la carga, la parte del revoque interesada, diámetro 50 mm, fue separada del soporte con todo su ancho mediante un torno, luego a la zona aislada fue adherida con goma eposidica una placa metálica gruesa 6 mm, del mismo diámetro⁴.

TABLA 7.

Tipo de enlucido	Adherencia media al soporte [MPa]	Tipo de enlucido	Adherencia media al soporte [MPa]
A	0,162	P	0,046
I	0,062	Q	0,117
L	No superada	R	> 0,137
N	No superada	S	0,113
O	> 0,133	Z	0,080

De los resultados obtenidos (tabla 7) se observa la alta adherencia al soporte en ladrillo que se obtiene con el uso del yeso comparada con la baja o nula con el uso del cemento o de la cal. Esto se debe a la fuerte contracción en ambos casos, de acuerdo a los resultados obtenidos en tal prueba. Tales valores de adherencia podrán mejorar utilizando un soporte de tierra.

4.6 Test de absorción con tubo de Karsten

La prueba fue conducida sobre cada tipo de revoque colocando la pipeta graduada (figura2b), previamente pegada sobre la superficie con silicon⁵, en tres puntos diferentes a distancia intermedia respecto al largo de la tabla.

La lectura de la absorción de parte del revoque del agua destilada, contenida hasta el límite máximo de 4 cc, viene tomada cada 60 segundos y terminara en el lapso de 15 min (tabla 8).

Después de esta prueba se nota un comportamiento similar de absorción entre los revoques estabilizados con cemento y yeso, mientras se manifiesta una notable reducción con cal y con el aumento, en debidas porciones, de gluten vital de trigo y de gluten de maíz al yeso.

TABLA 8.

Tipo de enlucido	Absorbencia media después de 1° minuto [cc]	Absorbencia media después de 5° minuto [cc]	Absorbencia media después de 10° minuto [cc]	Absorbencia media después de 15° minuto [cc]
A	0,27	0,87	1,45	1,95
I	0,22	0,77	1,33	1,85
L	0,08	0,52	1,00	1,50
N	0,15	0,53	0,85	1,13
O	0,30	0,72	1,10	1,45
P	0,17	0,23	0,28	0,33
Q	0,20	0,50	0,75	0,97
R	0,10	0,13	0,22	0,23
S	0,07	0,12	0,17	0,17
Z	0,17	0,35	0,48	0,55

4.7 Test de erosión

Esta prueba, desarrollada según la normativa australiana y nuevazelandes⁶, y según aquella más agresiva propuesta por H. Houben y H. Guillaud (CRATerre), permite determinar la erosión de un revoque simulando la condición de caída de lluvia.

Los revoques fueron sujetos por 1 hora respectivamente a una presión con agua de 50 kPa con spray de 35 huecos desde una distancia horizontal de 47 cm sobre una superficie de impacto circular del diámetro de 7,5 cm y una presión de 140 kPa con ducha de diámetro de 10 cm desde una distancia horizontal de 20 cm sobre una superficie de impacto rectangular 4x8 cm.

Al término del primer test se observa una mínima erosión superficial, 1-2 mm, solo en los revoques compuestos de tierra+yeso y tierra+yeso+gluten de maíz, poniendo en resalte el aporte ventajoso del gluten vital de trigo unido a tierra y yeso (figura 4). La segunda prueba, más agresiva, muestra erosión puntual por parte de los revoques de tipo L,N,R,S y Z, y superficial por parte de las tipologías A, Q, 2-3 mm, y O, de menor profundidad.

5. Conclusiones

La campaña experimental conducida ha permitido verificar la validez del uso de yeso como aditivo en los revoques a base de tierra, comparada al comportamiento de la cal y del cemento. El yeso por sus características físico y químicas:

1. permite el control de la contracción, típico problema de los revoques a base de tierra;
2. garantiza una mayor eco-biosustentabilidad del producto;
3. aporta ventajas económicas y de prestación;
4. reduce su costo energético;
5. es compatible con los aditivos de origen vegetal.

En particular el uso de yeso con gluten vital de trigo aumenta la resistencia al agua del revoque sea en la absorción de la misma, que en la erosión, que resultan ambos menores; mejora la dureza, aumenta la acción de adherente al soporte, retrasa el tiempo de maduración.

Bibliografía

- SEIDEL, G. (et alii), (1979): "Tecnologia dei leganti - cemento calce gesso. La cottura: processo e impianti", vol. 3, Edizioni di Scienza e Tecnica, Milano, Italia.
- TURCO, Antonio (1985): "Il gesso: lavorazione, trasformazione, impieghi", HOEPLI, Milano, Italia.
- KAFESCIOGLU, Ruhi, (et alii) (1985): "Adobe blocks stabilized with gypsum", Proceedings of a Symposium held in Nairobi, in *Appropriate Building Materials for Low-cost Housing*, African Region, E. & F. N. Spon, London-New, York, UK-USA.
- NOLHIER, Marc (1986): "Construire en plâtre", L'Harmattan Villes et Entreprises, Paris, France.
- HOUBEN, Hugo ; GUILLAUD, Hubert (1989): "Traité de construction en terre", vol.1, CRATerre, Parenthèses, Marseille, France.
- NORTON, John (1997): "Building with earth. A handbook", Intermediate Technology Publications, London, UK.
- MASPERO, Mauro; MATTONE, Manuela (1998): "La protezione degli edifici in terra: l'intonaco", Atti del seminario in *Terra: incipit vita nova*, Politecnico di Torino, Torino, Italia.
- ITDG (a cura di) (1999): "Mud plasters and renders", in *Appropriate Technology*, n.1, vol.26, UK.
- GASPAROLI, Paolo; SABBADINI, Sergio; SCUDO, Gianni (2001): "Gli intonaci in argilla" in *Ambiente Costruito*, n.4, Italia.

- IŞIK, Bilge (2003): "Case study on Alker (earth) shooting technology", in *9th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture - Terra 2003*, Iranian Cultural Heritage Organization, Yazd, Iran.
- MATTONE, Roberto; PASERO, Gloria (et alii), (2003): "Gypsum and earth based plaster reinforced with vegetal fibres", in GHAVAMI Khosrow, *1st Inter American Conference Non-conventional Materials and Technologies in the Eco-Construction and Infrastructure*, João Pessoa, Brazil.
- MATTONE, Roberto (2005): "Sisal fibre reinforced soil with cement or cactus pulp in bahareque technique", in *Cement & Concrete Composites*, n° 27, pp. 611-616, England.

Notas

- (1) Norma UNICHIM pr14 (1969): "pH in sospensione acquosa-Pigmenti e riempitivi per prodotti vernicianti".
- (2) Norma UNI EN 196-1 (1996): Metodi di prova dei cementi, "Determinazione delle resistenze meccaniche".
- (3) Norma UNI 8942 (1986) (parte terza): "Prodotti di laterizio per murature", paragrafo n.14, "Determinazione dell'assorbimento d'acqua"; Cahier n.1779, CSTB (1982): Modalités d'essais des enduits extérieurs d'imperméabilisation de mur à base de liants hydrauliques.
- (4) Norma UNI EN 1015-12 (2002): Metodi di prova per malte per opere murarie, "Determinazione dell'aderenza al supporto di malte da intonaco esterno ed interno"; RILEM FINAL RECOMMENDATIONS (1982): Mr Technical Committee on Mortars and Renderings, "Determination of the bond strength between bricks or blocks and mortar (direct pull-test)"; Cahier n.1779, CSTB (1982): Modalités d'essais des enduits extérieurs d'imperméabilisation de mur à base de liants hydrauliques, "Comportement de l'enduit appliqué sur son support. Essais de comportement global: adhérence".
- (5) Norma UNI EN 1015-21 (2004): Metodi di prova per malte per opere murarie, "Determinazione della compatibilità delle malte monostrato per esterni con il supporto"; MOHREN n.11 (2000): "Water penetration testing tubes according to Prof. Karsten".
- (6) CSIRO, Australia, Bulletin 5 (1952): "Earth-wall construction", Appendix D: "Accelerated Erosion Test"; Standards New Zealand, NZS 4298 (1998): "Materials and workmanship for earth buildings", Appendix D: "Erosion Test (Pressure spray method)".

¹ Profesor Asociado, Politecnico di Torino, Departamento de Ciencias y Técnicas para los Procesos de Asentamiento, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, Italia, e-mail: roberto.mattone@polito.it

² Profesor, Politecnico di Torino, Departamento de Ciencias y Técnicas para los Procesos de Asentamiento, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, Italia, e-mail: gloria.pasero@polito.it

³ Doctorando, Politecnico di Torino, Departamento de Ciencias y Técnicas para los Procesos de Asentamiento, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, Italia, e-mail: alezio.rivotti@polito.it

⁴ Graduanda, Departamento de Ciencias y Técnicas para los Procesos de Asentamiento, Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10125, Torino, Italia, email: idisi@tiscali.it

LA HUMEDAD EN LAS CONSTRUCCIONES CON TIERRA EN EL TROPICO.
CONSIDERACIONES DE DISEÑO.
Por: Arq. Angela M. Stassano R.*

“ Stassano y Asociados S. De R.L.”
Edificio Adobe 30, 2do. piso, local No.5
San Pedro Sula, Honduras.
Teléfono(504) 551-8629 (504)551-8630
Fax (504)551-8631
Email: adobe.y.viento@sigmanet.hn

Adjunto las 2 fotografías y las 2 figuras del artículo en formato de Word.

Fotografía 1. Flora, Moho, grietas.



Fotografía 2. Colapso por exceso de humedad.



Figura 1. Ventilaciones Cruzadas.

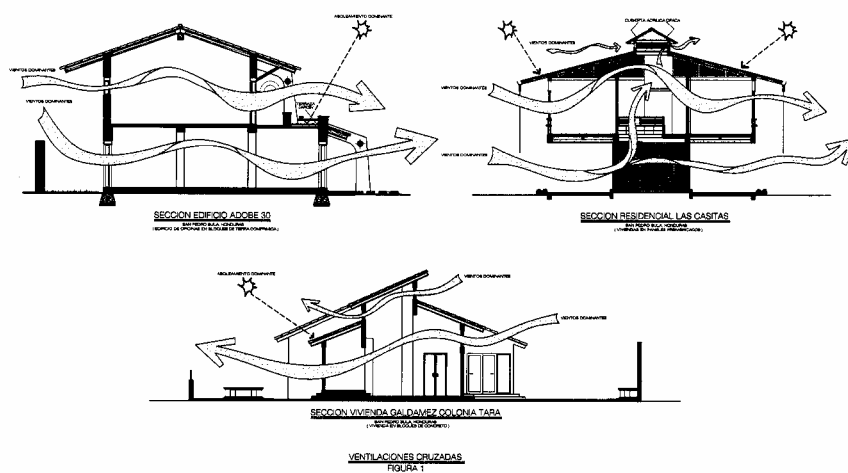
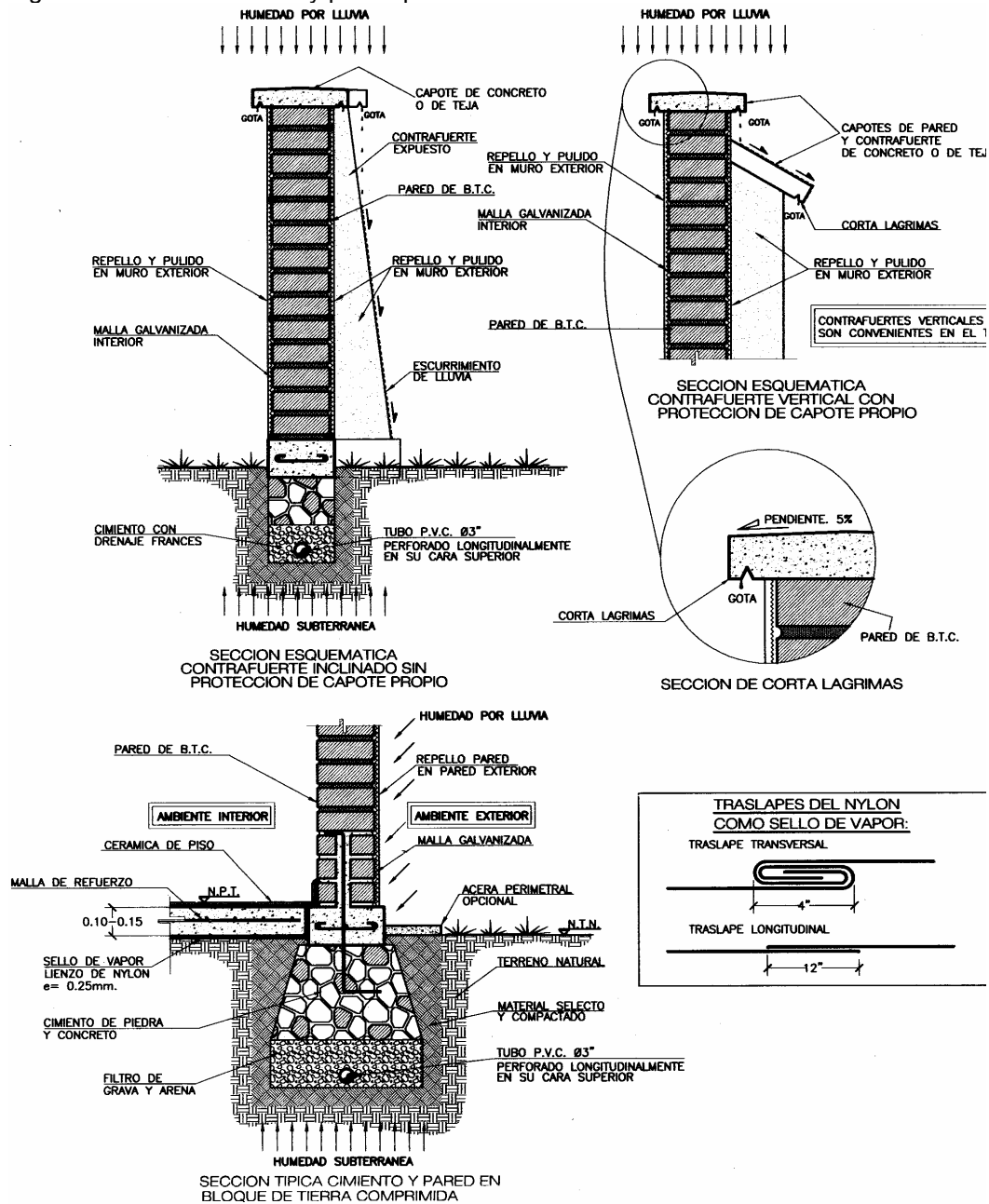


Figura 2. Humedad directa y por Capilaridad



HUMEDAD DIRECTA Y POR CAPILARIDAD

FIGURA 2